

Элина Кинг

---

# **КВАНТОВАЯ ВСЕЛЕННАЯ**

*ДРУГАЯ  
РЕАЛЬНОСТЬ  
РЯДОМ С НАМИ*



**Элина Кинг**  
**Квантовая вселенная. Другая  
реальность рядом с нами**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=73173391](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=73173391)*

*ISBN 9785006904095*

**Аннотация**

Представьте, что всю жизнь вы играли в футбол по одним правилам, а потом вам говорят: «А теперь мяч может быть одновременно в нескольких местах, проходить сквозь стены и мгновенно передавать информацию партнеру на другой край поля». Вы бы подумали, что это чепуха. Но именно по таким «странным» правилам играет сама природа в мире очень-очень маленького. Этот мир – квантовый. Он не где-то далеко. Он здесь, в экране вашего телефона, в лучах солнца, внутри вас. Просто его странности скрыты от нас.

# Содержание

|  |    |
|--|----|
| Треснувшая линза: Почему мир оказался не таким, как мы думали    | 5  |
| Планетарная катастрофа: Атом, который не должен был существовать | 12 |
| Грань Невозможного: Принцип неопределенности Гейзенберга         | 21 |
| Конец ознакомительного фрагмента.                                | 29 |

# **Квантовая вселенная Другая реальность рядом с нами**

**Элина Кинг**

© Элина Кинг, 2026

ISBN 978-5-0069-0409-5

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

# Треснувшая линза: Почему мир оказался не таким, как мы думали

Вы когда-нибудь задумывались, из чего всё сделано? Этот детский вопрос – самый главный вопрос всей науки. Древние греки говорили: из атомов, неделимых частиц. Потом оказалось, что атом делим – внутри есть ядро и электроны. Потом выяснилось, что и ядро состоит из протонов и нейтронов, а те – из кварков. И кажется, что мы просто разбираем матрешку, становясь всё меньше и меньше, пока не найдем ту самую, последнюю, фундаментальную «кирпичик» мироздания.

Но что, если я скажу вам, что на самом дне этой матрешки нас ждет не очередной, пусть и самый крошечный, твердый шарик, а нечто, от чего привычная логика трещит по швам? Нечто, что не «находится» в одной точке, не движется по одной траектории и вообще ведет себя так, будто ему неведомы правила нашего большого мира.

Это «нечто» – квант. А наука, которая с ним разбирается, – квантовая физика. И чтобы понять ее, нам нужно начать не с формул, а с простой истории о том, как треснуло зеркало нашего привычного мира.

Сцена первая: Уверенность. Мир как часы

Представьте себе мир конца XIX века. Физика праздно-

вала триумф. Казалось, она объяснила всё или вот-вот объяснит.

- Ньютон давно описал, как движутся планеты и падают яблоки.

- Фарадей и Максвелл приручили электричество и магнетизм, объединив их в элегантную теорию электромагнитных волн. Свет, по их мнению, был такой волной, как рябь на воде.

- Законы термодинамики предсказывали поведение тепла и пара.

Вселенная виделась гигантским, сложным, но абсолютно предсказуемым механизмом – часами. Если бы вы знали положение и скорость всех частиц во Вселенной в один момент, вы могли бы с абсолютной точностью рассчитать её будущее на миллиарды лет вперед. Такой взгляд называют лапласовским детерминизмом, в честь ученого Пьера-Симона Лапласа. Это был мир порядка, причинности и полной ясности.

На этом фоне оставалось всего несколько «неудобных облачков» на ясном небе. Никто не сомневался, что их скоро развеют. Самым упрямым из этих облачков была проблема излучения абсолютно черного тела.

Сцена вторая: Трещина. Катастрофа в ультрафиолете

Что такое «абсолютно черное тело»? Это идеализированный объект, который поглощает всё падающее на него излучение, а потом, при нагревании, испускает его обратно.

Примерно так ведет раскаленный кусок металла: сначала он тускло красный, потом ярко-оранжевый, потом белый. Ученые пытались теоретически описать спектр этого излучения – то, как его энергия распределена по разным цветам (длинам волн).

Используя классическую волновую теорию, они вывели формулу. Она прекрасно работала для длинных волн (красный свет), но для коротких (ультрафиолет, рентген) она предсказывала катастрофу. Получалось, что любое нагретое тело должно было мгновенно испустить бесконечное количество энергии в ультрафиолетовой области. Вся Вселенная должна была бы мгновенно сгореть в вспышке жесткого излучения. Этого, очевидно, не происходило. Этот абсурдный результат так и называли – «ультрафиолетовая катастрофа».

Это был не просто мелкий недочет. Это был фундаментальный крах. Классическая физика, столь успешная в большом мире, давала очевидно неверный ответ для мира излучения и атомов. Зеркало реальности дало первую, но глубокую трещину.

Сцена третья: Квант. Отчаянная догадка Планка

В 1900 году немецкий физик Макс Планк сделал нечто, что сам считал «чисто формальным трюком», чтобы просто сшить теорию с экспериментом. Он предложил безумную идею: а что, если энергия излучается не непрерывным потоком, как вода из шланга, а порциями, квантами?

Представьте, что вы в магазине, где продают сахар. В клас-

сическом мире вы можете купить любое его количество: 100 грамм, 100.5, 100.0001. Вы просто отсыпаете из мешка. В мире Планка сахар продается только в заранее отмеренных, неделимых пакетиках, скажем, по 50 грамм. Вы можете купить 50, 100, 150 грамм, но никогда не купите 75 или 130. Потому что «пакетик» – 50 грамм – нельзя разорвать.

Планк предположил, что энергия света связана с его частотой (цветом) и может меняться только скачками, квантами. Математически он ввел константу ( $h$  – постоянная Планка), которая определяет размер этого минимального «пакетика» энергии. Чем выше частота (фиолетовый, ультрафиолет), тем больше энергия кванта.

И вот что получилось: чтобы испустить высокочастотное (ультрафиолетовое) излучение, атому нужен очень большой «пакетик» энергии. У него такой энергии просто часто не находится. Поэтому ультрафиолетовое излучение «задыхается» – атомы его почти не испускают. Катастрофа была предотвращена. Формула Планка идеально совпала с экспериментом.

Но сам Планк был в ужасе. Он не верил в физическую реальность своих «квантов». Он думал, что подправил математику, а не открыл новую реальность. Он пытался всю жизнь вернуть изгнанную им же непрерывность. Но было поздно. Джинн был выпущен из бутылки.

Сцена четвертая: Фотоэффект. Эйнштейн превращает трюк в революцию

Если Планк был сомневающимся консерватором, то Альберт Эйнштейн, тогда еще молодой и никому не известный клерк патентного бюро, оказался смелым революционером. В 1905 году он взял идею кванта и сделал из нее оружие, чтобы объяснить другое загадочное явление – фотоэффект.

Свет, падая на металл, может выбивать из него электроны. Классическая волновая теория предсказывала: чем ярче свет (больше энергии), тем больше энергии должны получить выбитые электроны (их скорость). А эксперимент показывал странное:

1. Энергия выбитых электронов зависела не от яркости, а от цвета (частоты) света. Фиолетовый свет выбивал более энергичные электроны, чем красный, даже если он был тусклым.

2. Для каждого металла существовала красная граница – минимальная частота, ниже которой электроны не выбивались вообще, сколько светом ни свети.

Эйнштейн предложил гениально простое объяснение: свет – это не только волна. Он ведет себя и как поток частиц – тех самых квантов энергии, которые он позднее назовет фотонами. Каждый фотон – это «пакетик» энергии, размер которого зависит от цвета.

Метафора: Представьте, что вы выбиваете мяч из ямы, кидая в него камни.

· Классический (волновой) подход: Вы заливаете в яму воду (непрерывный поток энергии). Чтобы выбить мяч, нужно

много воды, и чем больше воды вы выльете, тем сильнее он вылетит.

· Квантовый (частичный) подход Эйнштейна: Вы бросаете в мяч отдельные камни (фотоны). Чтобы выбить мяч, один камень должен иметь достаточную энергию (достаточный размер/массу). Маленький камешек (фотон красного света), сколько его ни кидай, мяч не выбьет. Один большой камень (фотон фиолетового света) – выбьет сразу. Яркость света – это просто количество кидаемых камней в секунду.

Эйнштейн математически описал это: Энергия фотона =  $h \times$  частота. Если эта энергия больше, чем энергия связи электрона в металле (работа выхода), электрон вылетает. Если меньше – ничего не происходит, как ни увеличивай яркость.

Это было потрясающе. Эйнштейн не просто использовал идею кванта – он заявил, что свет обладает двойственной природой. В одних экспериментах он ведет себя как волна (интерференция, дифракция), в других – как поток частиц (фотоэффект). Это был первый, но ошеломительный удар по нашему здравому смыслу. Как одно и то же может быть и волной, размазанной в пространстве, и частицей, локализованной в точке?

Заключение главы: Руины старого храма

К началу XX века стало ясно: прекрасный, отлаженный часовой механизм Вселенной – иллюзия. Он работал лишь в нашем, макроскопическом приближении, как работает карта мира, на которой не видно тропинок в лесу.

Работа Планка и Эйнштейна показала, что на фундаментальном уровне природа дискретна, прерывиста. Энергия передается порциями. Свет – это и волна, и частица. Атомы и излучение ведут себя не как что-то знакомое, а по своим, странным правилам.

Физики стояли перед руинами старого храма. Но из этих руин уже проступали контуры нового здания – куда более причудливого, загадочного, но и бесконечно более глубокого. Они сломали линзу, через которую человечество тысячи лет смотрело на мир. Теперь предстояло создать новую – квантовую – линзу и научиться видеть реальность заново.

Эта новая реальность была подобна зеркалу, разбитому на осколки. В каждом осколке отражалась лишь часть истины. Следующее поколение ученых – Бор, Гейзенберг, Шрёдингер – будет пытаться собрать эти осколки в целостную картину. Их ждали еще более шокирующие открытия: электроны-призраки, кот-полутруп, мгновенная связь на расстоянии.

Но все началось здесь – с отчаянного трюка сомневающегося профессора и смелой догадки молодого гения, которые осмелились предположить, что мир состоит из «пакетиков». Из квантов.

# Планетарная катастрофа: Атом, который не должен был существовать

Если открытие квантов света (фотонов) стало первой трещиной в зеркале классической физики, то следующее открытие обрушило целую стену. Эта стена была не просто абстрактной теорией – это была наша интуитивная, наглядная картина атома. И ее крушение оказалось настолько шокирующим, что потребовало от ученых не просто новых вычислений, а полной перестройки мышления. На кону стоял вопрос: из чего, собственно, состоит всё вещество вокруг нас и почему оно стабильно?

Часть 1: Резерфорд и его «крошечная солнечная система»

К началу XX века атом уже не считался неделимым. Эксперименты Дж. Дж. Томсона показали, что внутри него есть отрицательно заряженные электроны. Его модель напоминала «пудинг с изюмом»: положительный заряд был размазан по всему атому, а электроны, как изюминки, были в него вкраплены.

Но в 1909—1911 годах Эрнест Резерфорд со своими учениками поставил красивый и простой эксперимент, который перевернул всё. Они бомбардировали тончайшую золотую фольгу альфа-частицами (положительно заряженными ядра-

ми гелия). По логике «пудинга», эти частицы должны были слегка отклоняться, проходя сквозь равномерное положительное «тесто», и почти все они так и делали.

Но была деталь, которая потрясла Резерфорда до глубины души. Одна из многих тысяч альфа-частиц отскакивала назад, как теннисный мяч от бетонной стены. Резерфорд позже сказал: «Это было почти так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в кусок папиросной бумаги, а он отскочил бы назад и ударил вас».

Вывод был неизбежным и революционным: весь положительный заряд и почти вся масса атома сосредоточены в невообразимо крошечном, плотном ядре в его центре. Электроны же вращаются вокруг этого ядра на относительно огромном расстоянии. Если увеличить атом до размеров футбольного стадиона, его ядро будет размером с горошину на центре поля, а электроны – как пылинки на самых верхних рядах трибун.

Так родилась планетарная модель атома: ядро – Солнце, электроны – планеты. Она была элегантна, наглядна и... абсолютно невозможна с точки зрения классической физики.

Часть 2: Гибель классического атома за 0,000000001 секунды

Почему же эта красивая модель была обречена? Ответ давала хорошо известная теория электромагнетизма Максвелла. Заряженная частица, движущаяся с ускорением (а электрон, вращающийся по орбите, движется с ускорением – ме-

няет направление), должна излучать электромагнитные волны, то есть терять энергию.

Давайте проследим эту катастрофу по шагам, представив электрон как спутник, вращающийся вокруг Земли:

1. Старт. Электрон движется по орбите.
2. Излучение. Из-за ускорения он начинает терять энергию, излучая свет (фотоны).
3. Падение энергии. Потеря энергии означает, что электрон не может удерживаться на своей дальней орбите. Он начинает спирально падать к ядру.
4. Катастрофа. Расчеты показывали, что этот процесс займет менее одной наносекунды. За это время электрон испустит непрерывный спектр излучения (все цвета радуги) и рухнет на ядро.

Вывод по законам XIX века: Атомы Вселенной должны были бы схлопнуться в момент своего возникновения. Материя не могла бы существовать. Но она существует. Мы с вами – живое доказательство того, что классическая физика здесь бессильна. Это был не просто просчет – это был смертный приговор целой физической картине мира применительно к микромиру.

Часть 3: Бор. Спаситель атома и его «запретные орбиты»  
Молодой датский физик Нильс Бор, работавший у Резерфорда, осознал масштаб катастрофы. Но у него в руках был новый инструмент – идея квантования Планка и Эйнштейна. В 1913 году он совершил смелый, почти дерзкий шаг. Он

решил навязать атому новые, квантовые правила, просто постулировав их, потому что они работали.

Постулаты Бора – правила новой игры:

1. Правило стационарных орбит: Электрон не может находиться где угодно. Существуют только определенные, «разрешенные» орбиты, на которых он не излучает, несмотря на ускорение! (Это был вызов классике в самой ее основе).

2. Правило квантования: Эти орбиты отличаются величиной момента импульса электрона, который может быть только целым кратным постоянной Планка. Проще говоря, орбиты – это как ступеньки лестницы. Электрон может стоять на первой, второй, третьей ступеньке, но не между ними.

3. Правило скачков: Электрон может перепрыгнуть с одной разрешенной орбиты (уровня энергии) на другую. Если он прыгает с высокой орбиты на низкую, он излучает один квант света (фотон) с энергией, равной разнице энергий между уровнями. Если он получает энергию (от света или удара), он прыгает на более высокую орбиту.

Аналогия: Фонарик в многоэтажном доме.

Представьте, что атом – это темный небоскреб. Электрон – это человек с фонариком.

· Классика: Человек может плавно спускаться по эскалатору (спирали), непрерывно теряя энергию, и свет его фонаря будет плавно меняться.

· Бор: В этом небоскребе нет эскалаторов и лестниц. Есть только лифт, который ходит строго на определенные этажи

(орбиты). На этаже человек стоит с выключенным фонарем (не излучает). Чтобы спуститься с 5-го этажа на 2-й, он должен сесть в лифт и скачком оказаться ниже. В момент «скачка» он включает фонарь ровно на то время, пока едет лифт, и испускает порцию света строго определенного цвета (энергии), соответствующую разнице между 5-м и 2-м этажом.

Триумф и границы: Модель Бора была ошеломляюще успешной. Она блестяще объяснила линейчатые спектры атомов. Почему водород светит определенными цветами (красным, сине-зеленым, фиолетовым), а не сплошной радугой? Потому что электрон прыгает между конкретными уровнями, испуская фотоны строго заданных энергий (цветов). Формула Бора точно предсказала эти линии.

Но это была полупобеда. Модель Бора была гениальной «заплаткой», гибридом старого и нового. Она говорила где может быть электрон (на орбитах), но не объясняла, почему эти орбиты стабильны. Она работала лишь для атома водорода (один электрон). Она не могла объяснить, почему спектральные линии в магнитном поле расщепляются. Бор чувствовал, что его модель – не окончательная истина, а мост к чему-то более глубокому и странному.

Часть 4: Де Бройль. Вселенская симметрия: Если свет – частицы, то частицы – волны?

Следующий прорывный шаг был сделан на уровне чистой, почти философской идеи. Французский аристократ и физик Луи де Бройль в 1924 году задался вопросом: Природа лю-

бит симметрию. Если то, что мы считали волной (свет), ведет себя как частица (фотон), то не может ли то, что мы считаем частицей (например, электрон), вести себя как волна?

Де Бройль постулировал: Каждой движущейся частице соответствует волна. Длина этой «волны материи» обратно пропорциональна импульсу частицы (чем тяжелее и быстрее частица, тем короче ее волна). Для электрона в атоме эта длина волны была сопоставима с размерами орбиты.

И тут его осенило! Правило стационарных орбит Бора получило волновое объяснение. Разрешенная орбита – это та, на которой волна де Бройля электрона замкнута сама на себя без разрушительных помех. То есть длина орбиты должна быть целым числом длин волн.

Метафора: Гитара атома.

Представьте струну гитары (орбиту). На ней могут существовать только определенные стоячие волны (моды колебаний): целое число полуволн должно укладываться в длину струны. Вы не можете издать звук с произвольной частотой – только определенные ноты. Так и в атоме: электронная волна может устойчиво существовать только на тех орбитах, где она, обернувшись вокруг ядра, «совпадает сама с собой» по фазе, создавая стоячую волну. Все другие орбиты – «фальшивые ноты», они гасят сами себя из-за интерференции. Вот почему орбиты «квантованы»! Электрон – это не точка, а стоячая волна вероятности.

Идея де Бройля была фантастической. Она стирала гра-

ницу между веществом (частицами) и светом (волнами). Вся материя на фундаментальном уровне обладала корпускулярно-волновым дуализмом. В 1927 году эксперименты Клинтон-Дэвиссона и Лестера Джермера по дифракции электронов на кристалле (аналогично дифракции рентгеновских лучей) блестяще подтвердили это. Электроны вели себя как волны, создавая интерференционную картину.

Часть 5: Конец орбит. Рождение квантовой механики

Работа де Бройля была последним кирпичиком в фундаменте. Теперь требовалось возвести здание новой теории – не гибридной, как у Бора, а целостной. Это сделали почти одновременно два гения, подошедшие к задаче с разных сторон.

1. Эрвин Шрёдингер (1926), вдохновленный идеей волн материи, вывел свое знаменитое волновое уравнение. Оно описывало, как волновая функция ( $\Psi$ , пси) электрона изменяется в пространстве и времени. Решения этого уравнения – это не орбиты, а орбитали – трехмерные «облака», формы которых (сфера, гантель и т.д.) описывают вероятность нахождения электрона в той или иной точке. Язык точечных частиц на траекториях окончательно ушел в прошлое. Электрон стал «размазанным» объектом.

2. Вернер Гейзенберг (1925) пошел другим путем, создав матричную механику. Он полностью отказался от визуализации, оперируя только наблюдаемыми величинами – частотами и интенсивностями спектральных линий. В его подходе

электрон и его свойства описывались абстрактными математическими таблицами (матрицами), правила умножения которых были некоммутативны ( $A \times B \neq B \times A$ ). Это была первая причуда новой математики, которая таила в себе следующий великий прорыв.

Заключение главы: От планет к облакам

Итак, за полтора десятилетия картина атома претерпела метаморфозу, невиданную в истории науки:

- 1911: Резерфорд дал нам атом как планетарную систему.
- 1913: Бор превратил его в атом как квантовый лифт со строгими этажами.
- 1924—1927: Де Бройль, Шрёдингер и Гейзенберг превратили его в атом как резонансное волновое облако.

Исчезли четкие орбиты, траектории, предсказуемость. На смену пришли вероятности, волновые функции и абстрактная математика. Атом перестал быть механизмом. Он стал загадкой, описываемой на языке вероятностных образов.

Но самая большая странность была еще впереди. Некоммутативность Гейзенберга и природа волновой функции Шрёдингера таили в себе нечто, что потрясет самих основателей теории. Гейзенберг скоро выведет из своей матричной механики принцип, который навсегда положит предел нашему знанию о микромире и заставит пересмотреть само понятие «реальности». А Шрёдингер, пытаясь осмыслить абсурдность новой теории, придумает своего знаменитого

и несчастного кота.

Путь вглубь материи привел нас не к твердым шарикам, а к миражам и вероятностям. Мы сломали планетарную модель и обнаружили, что живем во Вселенной, где на самом фундаментальном уровне правят не законы механики, а законы... возможности.

# Грань Невозможного: Принцип неопределенности Гейзенберга

Если мир, открывавшийся новой квантовой теорией, и так казался ученым странным местом, то в конце 1920-х годов им предстояло столкнуться с чем-то более фундаментальным, чем просто странность. Им предстояло признать принципиальный предел познания. Оказалось, что сама природа накладывает запрет на получение абсолютно точного знания о реальности. Это не вопрос несовершенства приборов или недостатка ума. Это – закон.

Этот закон называется принципом неопределенности Гейзенберга. И его открытие стало не просто еще одним пунктом в учебнике, а глубоким философским переворотом, разделившим историю науки на «до» и «после». Это была точка, где физика встретила с онтологией и где наша интуиция потерпела окончательное поражение.

Часть 1: Предчувствие: Что не так с микроскопом?

Чтобы почувствовать проблему, давайте совершим мысленный эксперимент. Вы – ученый, желающий изучить электрон. Ваша задача: определить его точное местоположение и скорость (а значит, и импульс – произведение массы на скорость).

Классический подход: Вы освещаете объект. Чтобы уви-

деть что-то очень маленькое, вам нужен свет с очень короткой длиной волны (например, гамма-излучение), ведь разрешение микроскопа ограничено длиной волны света. Казалось бы, бери более «тонкий» инструмент (более короткую волну) – и ты увидишь электрон с любой точностью.

Но в квантовом мире свет – это не просто луч. Это поток фотонов, каждый из которых является квантом энергии и обладает своим собственным «пинком» – импульсом.

Вот что происходит, когда вы пытаетесь «увидеть» электрон:

1. Вы направляете на него фотон.
2. Фотон сталкивается с электроном и отражается (или рассеивается) в ваш детектор, позволяя определить координату столкновения.
3. Но в момент столкновения фотон передает электрону часть своего импульса, изменяя его скорость. Это похоже на попытку определить положение бильярдного шара, ударив по нему другим шаром. После удара вы узнали, где он был, но понятия не имеете, куда и как быстро он покатился после вашего измерения.

Можно ли сделать этот удар более «аккуратным»? Использовать фотон с меньшей энергией и импульсом (более длинноволновый, «мягкий» свет)? Да, такой фотон меньше потревожит электрон. Но тут вступает в силу волновая природа света: длинная волна плохо локализует объект. Представьте, что вы пытаетесь найти мяч в темной комнате, светя

на него не лучом лазера, а широким фонарем. Вы поймете, что мяч где-то в этой области света, но не сможете определить его точное положение. Вы либо грубо знаете положение (длинная волна), но не знаете импульс, либо точно определяете положение (короткая волна), но сильно меняете импульс.

Это – интуитивное зерно принципа. Измерение в квантовом мире – это не пассивное наблюдение. Это физическое взаимодействие, которое неизбежно меняет состояние измеряемого объекта.

Часть 2: Открытие: Гейзенберг и его матрицы говорят «нет»

Вернер Гейзенберг, разрабатывая свою абстрактную матричную механику, заметил странную математическую особенность. В его формулах величины, соответствующие положению ( $q$ ) и импульсу ( $p$ ), были представлены матрицами, которые не перестановочны. Это значит, что результат их перемножения зависел от порядка:  $q \times p$  не равнялось  $p \times q$ .

Разница между этими произведениями была крошечной, но принципиальной: она равнялась  $i\hbar$ , где  $i$  – мнимая единица, а  $\hbar$  – постоянная Планка, деленная на  $2\pi$ . Это не была техническая деталь. Это был крик математики: «Эти две вещи нельзя знать одновременно с абсолютной точностью!»

В 1927 году Гейзенберг сформулировал это на языке физики. Принцип неопределенности Гейзенберга гласит:

Невозможно одновременно с абсолютной точностью измерить координату ( $\Delta x$ ) и соответствующий ей импульс ( $\Delta p$ )

микрочастицы. Произведение неопределенностей этих величин не может быть меньше постоянной Планка.

Математически:  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$

Что это значит на практике?

· Если вы пытаетесь определить положение электрона с нулевой погрешностью ( $\Delta x = 0$ ), то неопределенность его импульса становится бесконечной ( $\Delta p = \infty$ ). Вы не имеете ни малейшего понятия, куда и с какой скоростью он полетит в следующий миг.

· Если вы хотите точно знать его импульс ( $\Delta p = 0$ ), то вы полностью теряете информацию о его положении ( $\Delta x = \infty$ ). Частица с точно известным импульсом – это идеальная волна, размазанная по всему пространству.

Аналогия: Звуковая волна.

Представьте чистую музыкальную ноту (допустим, ля первой октавы, 440 Гц). Эта нота имеет точно определенную частоту (аналог импульса в квантовом мире – тоже связан с периодичностью). Но когда вы слушаете такую ноту, длящуюся секунды, когда именно она прозвучала? Она звучала всю эту секунду. Ее «момент времени» неопределен. Теперь представьте короткий щелчок. Вы точно знаете, когда он произошел (определенное время, аналог координаты). Но из чего он состоит? Это всплеск всех частот! Его частотный спектр (импульс) крайне неопределен. Точность во времени убивает точность в частоте, и наоборот. Точно так же в квантовой механике точность в координате убивает точность в импуль-

се.

Часть 3: Глубже измерения: Это свойство реальности, а не приборов

Важно понять: принцип неопределенности – это не про «глупых экспериментаторов с их грубыми инструментами». Даже если бы у нас был идеальный, всемогущий измерительный прибор, этот принцип продолжал бы работать. Почему?

Ответ лежит в корпускулярно-волновом дуализме. Частица в квантовой механике описывается волновой функцией. Эта волновая функция может быть «острой» и локализованной в пространстве (как короткий импульс – хорошая координата), но тогда она состоит из набора множества синусоид с разными длинами волн (плохой импульс). Или она может быть протяженной, гладкой синусоидой (отличный, четко определенный импульс), но тогда она размазана в пространстве (ужасная координата).

Визуализация: Волновой пакет.

Самый близкий образ – это группа (пакет) волн на воде. Вы можете создать локализованный всплеск (цунами), у которого есть некое «центровое» положение. Но посмотрите на его профиль: это не чистая волна, а сложная интерференция множества волн разной длины, быстро затухающая по краям. У этого пакета есть примерная позиция ( $\Delta x$ ) и примерный разброс длин волн ( $\Delta \lambda$ ), который связан с неопределенностью импульса ( $\Delta p$ ). Сделать пакет уже (уменьшить  $\Delta x$ ) можно, только смешав в нем больше волн разной длины

(увеличив  $\Delta p$ ).

Электрон – это такой волновой пакет. Принцип неопределенности просто математически описывает это фундаментальное свойство волновой природы всего сущего. Он говорит: «Вы не можете быть и идеальной частицей (точка), и идеальной волной (чистая синусоида) одновременно». Вы обязаны быть чем-то промежуточным.

Часть 4: Энергия и время: Другой лик неопределенности

Не менее важен и второй вид принципа неопределенности, связывающий энергию и время:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$$

Эта формула менее интуитивна, но не менее глубока. Она не означает, что мы плохо измеряем энергию. Она означает, что закон сохранения энергии может быть «нарушен» на очень коротких промежутках времени.

Объяснение: Если система (например, вакуум) существует в определенном энергетическом состоянии очень долго ( $\Delta t$  велико), то ее энергия может быть измерена очень точно ( $\Delta E$  мало). Но если мы рассматриваем сверхкороткий промежуток времени ( $\Delta t$  мало, например,  $10^{-20}$  секунды), то энергия системы становится принципиально неопределенной ( $\Delta E$  велико).

И эта «лишняя» энергия может спонтанно рождать частицы из вакуума! Они называются виртуальными частицами. Они живут невероятно короткое время, разрешенное соотношением неопределенности, и затем аннигилируют. Мы

не можем их непосредственно наблюдать (это было бы измерением, нарушающим принцип), но мы видим их следы – например, казимиров эффект (притяжение двух проводящих пластин в вакууме из-за того, что между ними рождается меньше виртуальных фотонов, чем снаружи) или тонкие поправки к уровням энергии атомов.

Это открывает ошеломляющую картину: вакуум – это не пустота. Это кипящий «бульон» виртуальных частиц, постоянно рождающихся и исчезающих. Это прямое следствие принципа неопределенности Гейзенберга.

#### Часть 5: Последствия: Мир после запрета

Открытие принципа неопределенности имело колоссальные последствия, выходящие далеко за рамки физики частиц.

1. Конец лапласовского детерминизма: Мечта Лапласа о всезнающем демоне, вычисляющем будущее по полным начальным данным, рассыпалась в прах. Невозможно получить полные начальные данные (координаты и импульсы всех частиц) даже в принципе. Следовательно, будущее принципиально непредсказуемо в деталях. Оно вероятно. Квантовая механика дает вероятности, а не гарантии.

2. Стабильность атома (окончательное объяснение): Помните катастрофу электрона, падающего на ядро? Принцип неопределенности дает ей изящное и окончательное объяснение. Если бы электрон был «зажат» в области размером с ядро (очень маленькая  $\Delta x$ ), его неопределенность

импульса  $\Delta p$  стала бы колоссальной. Это означало бы, что у него была бы гигантская кинетическая энергия. Эта энергия вытолкнула бы его обратно. Существует состояние с оптимальным балансом – не слишком близко к ядру (чтобы не иметь огромного импульса) и не слишком далеко (чтобы удерживаться кулоновскими силами). Это и есть основное состояние атома. Электрон не падает на ядро потому, что это запрещено фундаментальным законом природы – принципом неопределенности.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.